

УДК 528.48:626

ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ ГИДРОАГРЕГАТОВ

Георгий Афанасьевич Уставич

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-55, e-mail: ystavich@mail.ru

Виктор Семенович Писарев

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-25-77, e-mail: viktor@ssga.ru

Сергей Владимирович Середович

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, директор Института геодезии и менеджмента, тел. (383)343-27-09, e-mail: dir.inst.gm.@ssga.ru

Виктор Александрович Скрипников

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-55, e-mail: v.a.skripnikov@ssga.ru

Маргарита Александровна Скрипникова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-55, e-mail: m.a.skripnikova@ssga.ru

Владимир Иванович Дударев

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры геоматики и инфраструктуры недвижимости, тел. (383)361-07-09, e-mail: leodvi@rambler.ru

Рассматривается методика совместного применения классической технологии определения геометрических параметров гидрогенераторов при их реконструкции и технологии, основанной на применении автоматизированных геодезических приборов. Особенность рассматриваемой методики геодезического обеспечения монтажа гидрогенератора обусловлена тем, что статор генератора не подвергается реконструкции. В этом случае монтаж турбины является более сложной задачей, поскольку камера рабочего колеса и новое оборудование турбины должны устанавливаться соосно с установленным ранее статором. Предлагаются методики измерений, обеспечивающие ошибку определения центра статора не более одного миллиметра. Рассматривается методика переноса центра (оси) статора на уровень низа лопаток турбины в камере рабочего колеса. Рекомендуются при выборе оптико-электронных геодезических приборов для измерений учитывать влияние электромагнитных полей от работающих рядом гидрогенераторов. Отмечено, что учет инструментальных ошибок электронных тахеометров при выборе методики измерений может повысить точность определения центра статора при переносе центра камеры рабочего колеса на уровень статора.

Ключевые слова: реконструкция гидроагрегата, геометрический центр статора, эллиптичность статора, электронный тахеометр, прибор вертикального проецирования.

Введение

Длительная эксплуатация гидроагрегатов приводит к физическому износу частей оборудования и изменению их геометрических параметров. Поэтому на всех ГЭС периодически выполняются работы по их капитальному ремонту и реконструкции [1–3]. При установке новых гидрогенераторов, их последующей реконструкции и ремонте используются технология и допуски, приведенные в нормативных документах [4, 5]. Установка в проектное положение составляющих частей гидроагрегатов выполняется с применением геодезических методов измерений. Обеспечение проектной геометрии частей гидроагрегата является необходимым условием обеспечения безаварийной работы и проектной выработки электроэнергии [6, 7].

Наиболее распространенной конструкцией гидрогенератора является вертикальная компоновка его элементов. Основными частями гидроагрегата являются генератор и располагаемая под ним турбина с генератором.

Перед проведением монтажных работ производится создание разбивочной сети (осей), затем от пунктов созданной сети или осей производится монтаж турбины, а после – и генератора [8].

До появления высокоточных оптико-электронных геодезических приборов установка в проектное положение статора и последующие исполнительные съемки выполнялись с помощью шаблонов (с установленными на них индикаторами часового типа), отвесов и рулеток. В настоящее время для контроля геометрии статора в процессе монтажа гидрогенераторов и в последующих исполнительных съемках начинают применяться высокоточные электронные тахеометры и лазерные сканеры [9–12].

Так, с помощью электронного тахеометра центр турбины выносится на уровне низа лопастей турбины в камере рабочего колеса, после чего закрепляется знаком. Также дополнительно (для контроля) определяются координаты нескольких знаков на стене камеры. По мере монтажа конструкций тахеометр крепится на необходимом монтажном горизонте, после чего выполняется его центрирование относительно знаков на стене камеры рабочего колеса. Затем положение (координаты) знаков последовательно передается с помощью тахеометра от одного монтажного горизонта к другому монтажному горизонту [13]. По такой технологии точность передачи центра турбины на уровень монтажа статора относительно центра турбины на уровне низа камеры рабочего колеса зависит от точности измерений, выполненных тахеометром, способа фиксации знаков на монтажных горизонтах и числа этапов переноса знаков.

Лазерные сканеры применяются для контроля выполненных монтажных работ гидрогенератора.

Необходимо отметить, что технология монтажа гидрогенератора производится по схеме «снизу вверх», т. е. завершающим этапом монтажа является установка оси статора относительно оси турбины с генератором, которая производится перемещением статора (с соблюдением величин воздушных за-

зоров между ротором генератора и стенкой статора) с последующим его закреплением.

При реконструкции гидрогенератора его монтаж, наоборот, производится по схеме «сверху вниз», т. е. завершающим этапом монтажа является установка оси турбины с генератором относительно оси статора, которая производится перемещением уже турбины (также с соблюдением величин воздушных зазоров между ротором генератора и стенкой статора) с последующим ее закреплением. При этом статор не подвергается перемещению в горизонтальной плоскости и его ось не изменяет свое положение. В связи с этим при реконструкции гидроагрегатов геодезическое обеспечение монтажных работ является более сложной задачей, поскольку новое оборудование должно устанавливаться соосно с установленным ранее статором. Это обусловлено тем, что ось статорного кольца (центр круга) находится как бы в воздухе, т. е. является мнимой.

Поэтому для обеспечения соосности оси статора и оси турбины с генератором во время реконструкции авторами статьи рекомендуется выполнять геодезические работы в следующей последовательности:

- 1) нахождение и закрепление (фиксация) оси статора;
- 2) нахождение и закрепление (фиксация) центра опорного кольца турбины;
- 3) перенос центра статора и опорного кольца турбины вниз на уровень низа лопастей турбины;
- 4) определение высотного положения опорного кольца турбины;
- 5) установка в проектное положение камеры рабочего колеса турбины.

Методика геодезических измерений должна обеспечить следующие величины средних квадратических ошибок на всех этапах измерений:

- нахождение и закрепление (фиксация) оси статора – не более 1,0 мм;
- передача и закрепление оси статора на уровень камеры рабочего колеса гидрогенератора – не более 1,7 мм;
- определение горизонтальности положения опорного кольца турбины – не более 0,2 мм;
- установка в проектное положение камеры рабочего колеса турбины относительно оси статора – не более 2,0 мм.

Эксперименты

Рассмотрим возможные методы определения геометрического центра статора генератора. Если технология демонтажа ротора позволяет обеспечить доступ к центру вала ротора, то его координаты определяются электронным тахеометром. Эта методика определения геометрического центра статора может быть использована, если до начала реконструкции гидрогенератор находился в рабочем состоянии и величины воздушных зазоров между ротором и стенкой статора из-за эллиптичности кольца статора не превышали допусков.

При выполнении измерений тахеометр центрируется над центром вала. В пределах видимости на несущих конструкциях должны быть закреплены

не менее 5 марок с отражателями. Задается условная система координат и высот с началами в точке центра вала. Для задания начального направления при ориентировании прибора выбирается одна из марок. Затем выполняются измерения на все марки с вычислением координат и отметок наблюдаемых марок по методикам, приведенным в [14, 15].

Если по результатам исследований электронного тахеометра безотражательный режим измерений расстояний обеспечивает необходимую точность измерений, то рекомендуется взамен отражателей применять светоотражающие марки [16, 17].

Ошибки M определения координат относительно центра вала ротора, при использовании высокоточных тахеометров типа ТМ30, вычисленные по формуле (1), не превысят 0,8 мм:

$$M = \sqrt{m_{\text{ц}}^2 + m_{\text{в}}^2 + m_{\text{из}}^2}, \quad (1)$$

где $m_{\text{ц}}$ – ошибка центрирования тахеометра оптическим центриром, равная 0,5 мм; $m_{\text{в}}$ – ошибка визирования на марку, при ширине пролета машинного зала до 50 м равная 0,1 мм; $m_{\text{из}}$ – ошибка измерения полярных координат тахеометром типа ТМ30 при визировании на марку, равная 0,6 мм.

При необходимости восстановления центра статора тахеометр устанавливают на крестовине примерно в центре статора и способом обратной линейно-угловой засечки определяют текущие координаты точки тахеометра, принимая во внимание особенности алгоритма решения засечки, реализованные в программном обеспечении, и малые измеряемые расстояния [18–21]. Последовательно перемещая тахеометр, установленный на центрировочном столике, добиваются равенства текущих координат тахеометра известным значениям координат центра статора. С учетом того, что влияние ошибок угловых измерений в данном случае меньше влияния ошибок линейных измерений, можно рекомендовать для определения координат тахеометра обратную угловую засечку, а для контроля применять обратную линейно-угловую засечку.

Рассмотрим более детально выполнение геодезических работ при реконструкции гидроагрегата, при которой турбина устанавливается соосно с установленным ранее статором. Для обеспечения реконструкции гидрогенератора при замене турбины была разработана и реализована [22, 23] технологическая схема проведения геодезических измерений, в том числе и методика определения геометрического центра статора и его переноса на уровень низа лопаток турбины в камере рабочего колеса при замене в процессе реконструкции только турбины.

Разработанные методики выполнения геодезических работ были внедрены на Новосибирской ГЭС. Рассмотрим основные проблемы, возникающие при определении геометрического центра статора и его переноса на уровень

низа камеры рабочего колеса при замене в процессе реконструкции только турбины.

Для нахождения и закрепления (фиксация) оси (центра) статора необходимо выполнить высокоточные инженерно-геодезические работы по определению геометрии статора. На положение центра (оси) статора влияет его наклон и величины его диаметров по разным направлениям (секциям). Поэтому необходимо было выполнить следующие измерения по определению геометрии статора:

- определение наклона стенок статора генератора;
- определение величин диаметров и среднего диаметра статора генератора.

При строго вертикальном положении стенок статора (рис. 1) его ось симметрии будет находиться также вертикально. Если же стенки статора будут наклонены, то и ось статора также будет наклонена.



Рис. 1. Фрагмент стенки активной стали статора гидрогенератора

Необходимо отметить, что по разным направлениям диаметров (секциям) статора наклон его стенок будет разным и, следовательно, наклон оси будет изменяться в зависимости от направления выбранного диаметра. Кроме того, наклон стенок на разной высоте (сечения A , B , C и D) статора также разный (рис. 2).

В этом случае ставится задача нахождения средней величины наклона стенок статора при учете направлений измеренных диаметров и сечений статора. В связи с тем, что по разным направлениям диаметры статора будут иметь различные значения, то и центр статора также будет изменять свое положение. Поэтому также необходимо выполнить определение среднего значения диаметра статора. Таким образом, на общее положение оси (центра) статора влияет наклон его стенок по разным направлениям и сечениям (A , B , C и D), а также разности величин диаметров.

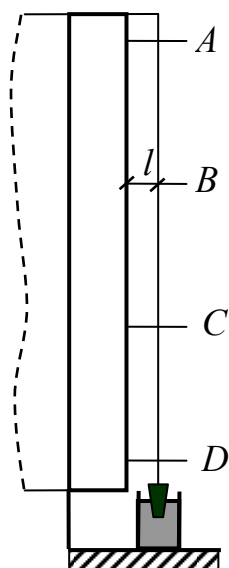


Рис. 2. Схема измерений отклонения стенки статора от вертикали

Определение вертикальности стенок статора производилось с помощью отвеса и штангенциркуля. Для этого на расстоянии 5–10 мм от стенок статора подвешивался отвес и после успокоения его колебаний с помощью сосуда с маслом производилось измерение расстояний l штангенциркулем. В таблице приведены результаты измерения отклонения стенки от вертикали. Анализ измерений показал, что на статоре первого гидрогенератора минимальные отклонения стенок от вертикали относительного верхнего яруса были на середине статора. На втором гидрогенераторе отклонения от вертикали были более значительны, но не превышали допустимого значения, равного 1,5 мм.

Результаты измерений крена стенок статора

Сечения по вертикали	Результаты измерений крена по секциям сектора 1, мм											
	1		2		3		4		5		6	
	отсчет	крен	отсчет	крен	отсчет	крен	отсчет	крен	отсчет	крен	отсчет	крен
<i>A</i>	7,2	0,0	7,0	0,0	7,1	0,0	6,5	0,0	6,7	0,0	7,2	0,0
<i>B</i>	8,0	0,8	7,0	0,0	7,0	-0,1	7,5	1,0	7,2	0,5	8,6	1,4
<i>C</i>	7,3	0,1	6,1	-0,9	6,1	-1,0	6,5	0,0	6,5	-0,2	8,5	1,3
<i>D</i>	6,0	-1,2	6,0	-1,0	6,0	-1,1	6,0	-0,5	7,5	0,8	8,5	1,3

После определения кренов стенок статора производилось измерение диаметров кольца статора и его эллиптичности в безотражательном режиме по схемам, приведенным в [24, 25]. Положение направления диаметров статора определялось по направлению вертикальных швов, расположенных между ше-

стью секциями статора. Для этого было выполнено измерение высокоточным тахеометром диаметров статора с верхней плиты фундамента генератора на уровне четырех сечений (*A*, *B*, *C* и *D*) вдоль натянутых струн. Результаты измерений приведены на рис. 3, из которого следует, что максимальная разность диаметров не превышает 2,0 мм. Сравнение наклона стенки по сечениям, вычисленного по разности диаметров сечений, и наклона по измерениям относительно струны отвеса показало, что значения разностей наклонов по сечениям не превышают 0,7 мм. Следует отметить, что пластины активной стали имели рельеф поверхности из-за износа в процессе эксплуатации.

После определения кренов стенок статора и диаметров его кольца службой эксплуатации Новосибирской ГЭС было принято решение определять и фиксировать центр статора на уровне сечения *B*.

Определение центра статора производилось с помощью натянутых между вертикальными швами трех струн, пересечение которых является центром статора. Из-за разности диаметров кольца статора в месте пересечения струн появляется треугольник ошибок. Величины сторон такого треугольника ошибок для первого статора не превышали 1,0 мм. Для второго статора смещение центра статора при смене горизонта натяжения струн составило около 2,0 мм, что является предельным значением при определении центра статора.

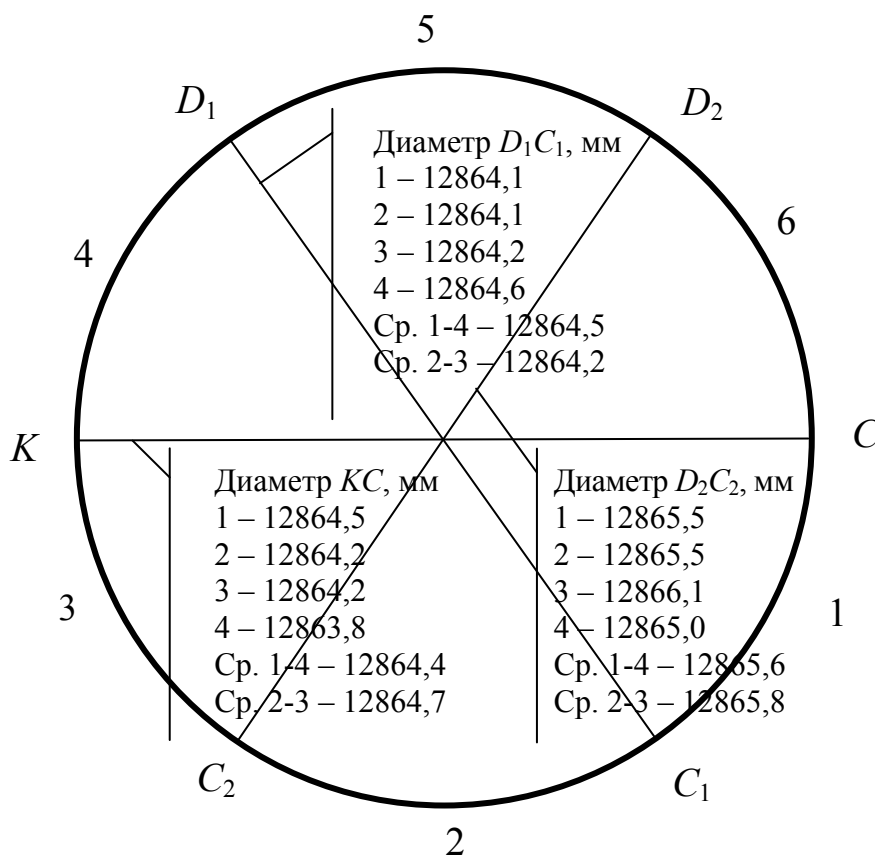


Рис. 3. Длины диаметров статора

После определения и фиксации центров O статора и O_1 опорного кольца производился их перенос и фиксация на уровень низа лопаток рабочего колеса турбины. Для этого на уровне низа лопаток рабочего колеса поочередно устанавливались автоматизированный оптико-электронный прибор Geobox ZL100 и оптический прибор вертикального проектирования (PZL). Результаты измерений Geobox ZL100 были признаны неудовлетворительными из-за влияния электромагнитного поля работающих рядом гидроагрегатов. Для уменьшения влияния вибрации соседних гидроагрегатов они отключались на время выполнения работ по переносу центра статора на низ камеры рабочего колеса.

В результате такого переноса определялись и фиксировались на уровне низа лопаток рабочего колеса турбины центр O статора, центр O_1 опорного кольца и центр O_2 рабочей камеры, а также находилась величина разности этих центров в линейной мере (рис. 4). Величина такой разности не превышала 1,2 мм.

Суммарная величина средней квадратической ошибки определения несоосности центров O и O_1 превышала 1,0 мм, при ошибке измерений PZL, равной 0,35 мм (при высоте визирования – 15 м), и ошибке определения центров статора и опорного кольца турбины – по 0,5 мм.

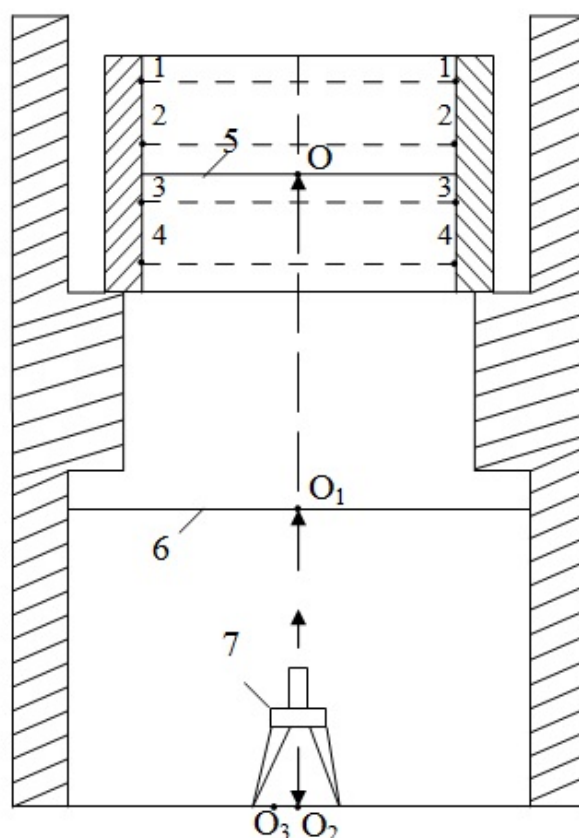


Рис. 4. Схема переноса центра статора и центра турбины:

O – центр статора; O_1 – центр турбины; O_2 – проекция центра статора; O_3 – проекция центра турбины; 1-4 – сечения статора; 5 и 6 – перекрестия натянутых струн; 7 – PZL

Вторая методика выполнения геодезических работ при реконструкции гидрогенератора предусматривает проведение исполнительной съемки статора по точкам фиксации вертикальности статора с применением высокоточного электронного тахеометра. Для этого на верхней плите фундамента генератора создается линейно-угловая сеть [14]. По полученным измерениям в специализированном программном обеспечении создается трехмерная модель статора, по которой определяется, с учетом величины зазора между стенками статора и ротором, центр статора и места крепления струн.

Для проверки точности координат определяемых точек в лабораторных условиях были выполнены экспериментальные измерения по 10 пунктам долговременного закрепления, расположенным равномерно по окружности радиусом примерно 2 м. Измерения выполнялись при расположении тахеометра внутри и вне кольца пунктов. Пункты имели устройство для принудительного центрирования.

Для измерений использовались высокоточный электронный тахеометр Leica TM30. При выполнении работ применялась мини-призма GMP104. Точность центрирования призмы составляла не более 0,05 мм. Измерения выполнялись при автоматическом способе наведения на отражатель. Экспериментальные измерения на макете кольцевой сети показали, что точность определения взаимного положения пунктов при применении тахеометра TM30 не превышает 0,5 мм. Повторные измерения координат обоими тахеометрами показали, что вычисленные между пунктами расстояния различаются не более чем на 0,3 мм. Таким образом, данный тип тахеометра можно использовать при определении геометрии статоров гидрогенераторов, для которых допуск на разность диаметров составляет 1,5 мм.

После переноса и закрепления центра O статора и центра O_1 опорного кольца на уровень низа лопаток рабочего колеса турбины производилась установка камеры турбины в проектное положение. Установка камеры рабочего колеса турбины производилась по трем сечениям. Измерения по сечениям выполнялись высокоточным тахеометром с установкой его над центром O_2 (рис. 5). Предварительно камера была выставлена по шаблону.

При установке камеры в проектное положение было выполнено два цикла измерений. После первого цикла были произведены небольшие перемещения секторов камеры в пределах 1 мм. Повторные измерения показали, что отклонения значений диаметров от проектных значений и эллиптичность камеры не превышают допустимых значений на уровне лопастей турбины. После бетонирования камеры был выполнен третий цикл измерений. Изменение значений диаметров по сравнению со вторым циклом не превысило точности измерений (0,5 мм), отклонения значений диаметров камеры от проектных не превышали допустимых значений.

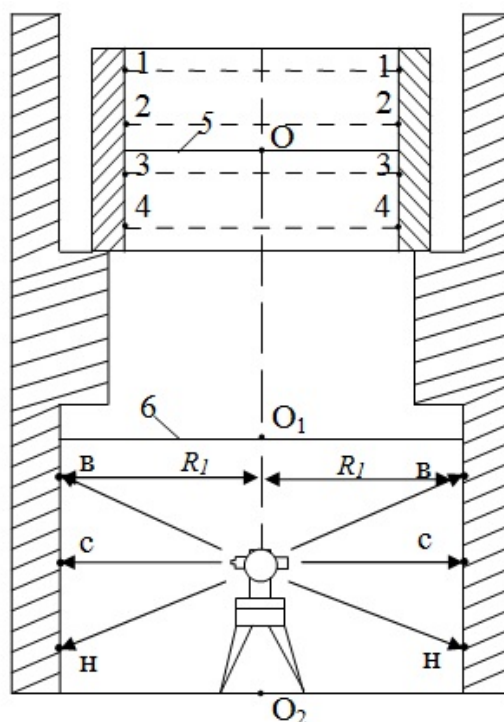


Рис. 5. Схема определения радиуса камеры рабочего колеса:

O – центр статора; O_1 – центр турбины; O_2 – проекция центра статора; 1–4 – сечения статора; 5 и 6 – уровень натянутых струн; в, с, н – сечения камеры, R_1 – радиус камеры рабочего колеса

Выводы

Разработанная методика измерений по определению центра статора и переноса его на уровень низа лопаток рабочего колеса позволяет обеспечить необходимую точность определения центра статора, центра опорного кольца генератора и центра камеры рабочего колеса.

В качестве рекомендаций для выполнения измерений в шахте гидроагрегата отметим следующие:

- измерения следует выполнять только при остановленных соседних гидроагрегатах;

- знак, на котором отмечен центр статора, должен быть закреплен в камере рабочего колеса независимо от крепления пола;

- для вертикального проецирования центра статора на уровень низа камеры рабочего колеса, вследствие влияния высоких электромагнитных полей, желательно не использовать электронные приборы; при таких работах хорошо зарекомендовал себя оптический PZL;

- при измерении тахеометром диаметров статора и исполнительной съемке камеры рабочего колеса возможно применение безотражательного режима измерения расстояний;

– при аналитическом способе определения центра статора по вычисленным координатам верхнего сечения измерения следует выполнять при автоматизированном способе наведения на визирную цель с использованием одной и той же призмы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ivanchenko I. P., Prokopenko A. N., Putsyn N. V. Assessment of the Technical Condition of Hydroturbine Equipment at the Irkutsk HPP After an Extended Period of Service // *Power Technology and Engineering*. – 2015. – Vol. 49, No. 2. – P. 83–89.
2. Иванченко И. П., Прокопенко А. Н., Конаков А. А. Опыт реконструкции гидротурбин // *Гидротехническое строительство*. – 2017. – № 9. – С. 21–28.
3. Мигуренко В. Р., Эйгенсон С. Н. Некоторые аспекты реконструкции гидроагрегатов // *Гидротехническое строительство*. – 2015. – № 8. – С. 2–6.
4. СТО Русгидро 02.03.69–2011. Гидрогенераторы. Общие технические условия на капитальный ремонт. Нормы и требования. – М., 2011. – 55 с.
5. СТО Русгидро 02.03.70–2011. Гидротурбины. Общие технические условия на капитальный ремонт. Нормы и требования. – М., 2011. – 64 с.
6. Михайлов М. Г. Нештатные ситуации, возникавшие при монтаже, эксплуатации и реконструкции оборудования ГЭС // *Гидротехническое строительство*. – 2016. – № 1. – С. 21–26.
7. Grigor'ev A. M. Use of vibration for monitoring the condition of turbogenerator stators // *Power Technology and Engineering*. – 2017. – Vol. 51, No. 3. – P. 316–323.
8. Mikhailov M. G. Method of Assembling a Vertical Hydrogenerator Rotor with a Hydroturbine Rotor // *Power Technology and Engineering*. – 2017. – Vol. 51, No. 3. – P. 294–297.
9. Kulikov D. V., Anikin Yu. A., Dvoinishnikov S. V., Meledin V. G. Laser technology for determining the geometry of a hydroelectric generator rotor under load // *Power Technology and Engineering*. – 2011. – Vol. 44, No. 5. – P. 411–416.
10. Мигуренко В. Р., Петров В. В. Контроль геометрических характеристик элементов линии вала гидрогенератора Рогунской ГЭС с применением мобильных промышленно-геодезических систем // *СГЭМ-70 лет в гидроэнергетике : науч.-техн. сб.* – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – С. 209–212.
11. Петров В. В., Мигуренко В. Р., Медяников В. О., Краев В. В. Применение лазерного трекера для контроля положения клиньев статора крупного гидрогенератора // *СГЭМ-70 лет в гидроэнергетике : науч.-техн. сб.* – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – С. 213–219.
12. Устинов А. В., Болодурин Д. В. Опыт применения технологии лазерного сканирования в рамках проекта комплексной реконструкции Нижегородской ГЭС // *Гидротехническое строительство*. – 2015. – № 10. – С. 28–32.
13. Никонов А. В. Особенности применения современных геодезических приборов при наблюдении за осадками и деформациями зданий и сооружений объектов энергетики // *Вестник СГГА*. – 2013. – Вып. 4 (24). – С. 12–18.
14. Скрипников В. А., Скрипникова М. А. Создание высокоточных малых линейно-угловых сетей с применением электронных тахеометров // *Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апр. 2014 г.)*. – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 1. – С. 87–91.
15. Могильный С. Г., Шоломицкий А. А. Модели технологий автоматизированных высокоточных геодезических измерений при монтаже и мониторинге промышленных установок // *Геодезия, картография, геоинформатика и кадастры. От идеи до внедрения : сб. матер.*

междунар. научн.-практ. конф. (Санкт-Петербург, 11–13 нояб. 2015 г.). – СПб. : Политехника, 2015. – С. 55–57.

16. Никонов А. В. Исследование точности измерения расстояний электронными тахеометрами в безотражательном режиме // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып. 1 (29). – С. 43–53.

17. Никонов А. В., Чешева И. Н., Лифашина Г. В. К вопросу об определении постоянной поправки дальномера электронного тахеометра // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып. 1 (29). – С. 54–61.

18. Горяинов И. В. О наилучшей конфигурации обратной линейно-угловой засечки и необходимом количестве пунктов для достижения заданной точности // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2016. – № 4. – С. 41–47.

19. Горяинов И. В. Экспериментальные исследования применения обратной линейно-угловой засечки для оценки стабильности пунктов плановой деформационной геодезической сети // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 1. – С. 28–39.

20. Никонов А. В. К вопросу о точности обратной линейно-угловой засечки на малых расстояниях // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 1. – С. 93–100.

21. Никонов А. В., Чешева И. Н., Лифашина Г. В. Исследование влияния стабильности положения геодезической основы на точность обратной линейно-угловой засечки // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 1. – С. 63–70.

22. Скрипников В. А., Скрипникова М. А. Технологическая схема геодезического обеспечения реконструкции гидрогенератора // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. Т. 1. – С. 46–51.

23. Уставич Г. А., Скрипников В. А., Скрипникова М. А. Геодезическое обеспечение реконструкции гидрогенераторов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 1. – С. 68–71.

24. Бешр Ашраф А., Рябова Н. М., Скрипникова М. А. Разработка методики определения горизонтальных смещений стенок шлюза // Геодезия и картография. – 2010. – № 6. – С. 17–21.

25. Бернд Хиллер, Ямбаев Х. К. Исследование автоматизированной системы деформационного мониторинга шлюзовых камер // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2016. – Вып. 3. – С. 33–38.

Получено 02.07.2018

© Г. А. Уставич, В. С. Писарев, С. В. Середович,
В. А. Скрипников, М. А. Скрипникова, В. И. Дударев, 2018

GEODETTIC SUPPORT OF HYDRO MACHINE RECONSTRUCTION

Georgij A. Ustavich

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, D. Sc., Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (383)343-29-55, e-mail: ystavich@mail.ru

Victor S. Pisarev

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (383)343-25-77, e-mail: viktor@ssga.ru

Sergey V. Seredovich

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Director, Institute of Geodesy and Management, phone: (383)343-27-09, e-mail: dir.inst.gm.@ssga.ru

Victor A. Skripnikov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (383)343-29-55, e-mail: v.a.skripnikov@ssga.ru

Margarita A. Skripnikova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (383)343-29-55, e-mail: m.a.skripnikova@ssga.ru

Vladimir I. Dudarev

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, D. Sc., Associate Professor, Department of Geomatic and Real Estate Infrastructures, phone: (383)361-07-09, e-mail: leodvi@rambler.ru

The authors investigate the methodology of classic technology application for determination of hydrogenerator geometric parameters in their reconstruction together with the technology, based on automated geodetic devices. The specific character of the geodetic support methodology under investigation is that the stator of the generator is not reconstructed. In this case the installation of the turbine is a more complicated task, because the runner chamber and new equipment of the turbine must be installed in line with the stator installed previously. The authors offer the measurement methods that give the error of stator centre determination not more than one millimetre. The authors consider the method of replacing the stator centre (axis) onto the bottom level of turbine blades in the runner chamber. It is recommended to take into account the electromagnetic influence from electric generators working nearby when choosing optical electronic geodetic devices for measurement. It is noticed that taking into account instrumental errors of total stations in choosing measurement method can increase the accuracy of stator centre determination in replacement of runner chamber centre onto the level of the stator.

Key words: reconstruction of hydro machine, geometrical centre of stator, stator ellipticity, total station, vertical projection device.

REFERENCE

1. Ivanchenko, I. P., Prokopenko, A. N., & Putsyn, N. V. (2015). Assessment of the Technical Condition of Hydroturbine Equipment at the Irkutsk HPP After an Extended Period of Service. *Power Technology and Engineering*, 49(2), 83–89
2. Ivanchenko, I. P., Prokopenko, A. N., & Konakov, A. A. (2017). Hydroturbine Reconstruction Experience. *Gidrotehnicheskoe stroitel'stvo [Hydraulic Engineering]*, 9, 21–28 [in Russian].
3. Migurenko, V. R. & Jejgenson, S. N. (2015). Some Aspects of Hydraulic Machine Reconstruction. *Gidrotehnicheskoe stroitel'stvo [Hydraulic Engineering]*, 8, 2–6 [in Russian].

4. STO Rusgidro 02.03.69-2011. (2011). Hydrogenerators. General Technical Conditions for Capital Repairing. Norms and Requirements. Moscow, 55 p. [in Russian].
5. STO Rusgidro 02.03.70-2011. (2011). Hydroturbines. General Technical Conditions for Capital Repairing. Norms and Requirements. Moscow, 64 p. [in Russian].
6. Mihajlov, M. G. (2016). Emergency Situations in Assembling, Exploitation and Reconstruction of PP Equipment. *Gidrotehnicheskoe stroitel'stvo [Hydraulic Engineering]*, 1, 21–26 [in Russian].
7. Grigor'ev, A. M. (2017). Use of vibration for monitoring the condition of turbogenerator stators. *Power Technology and Engineering*, 51(3), 316–323.
8. Mikhailov, M. G. (2017). Method of Assembling a Vertical Hydrogenerator Rotor with a Hydroturbine Rotor. *Power Technology and Engineering*, 51(3), 294–297.
9. Kulikov, D. V., Anikin, Yu. A., Dvoishnikov, S. V., & Meledin, V. G. (2011). Laser technology for determining the geometry of a hydroelectric generator rotor under load. *Power Technology and Engineering*, 44(5), 411–416.
10. Migurenko, V. R., & Petrov, V. V. (2012). Control of Geometric Parameters of hydrogenerator Shaft Elements in Rogunskaya GJeS with Use of Mobile Industrial Geodetic Systems. In *Nauchno-tehnicheskij sbornik: SGeM-70 let v gidrojenergetike [Proceedings of SGEM-70 Years in Hydraulic Engineering]* (pp. 209–212). St. Petersburg: Politechnical University Publ. [in Russian].
11. Petrov, V. V., Migurenko, V. R., Mejannikov, V. O., & Kraev, V. V. (2012). The Use of Laser Tracker for Position Control of Stator Elements in big hydrogenerator. In *Nauchno-tehnicheskij sbornik: SGeM-70 let v gidrojenergetike [Proceedings of SGEM-70 Years in Hydraulic Engineering]* (pp. 213–219). St. Petersburg: Politechnical University Publ. [in Russian].
12. Ustinov, A. V., & Bolodurin, D. V. (2015). Laser Scanning Application Experience in Complex Reconstruction Project of Nizhegorodskoj GJeS. *Gidrotehnicheskoe stroitel'stvo [Hydraulic Engineering]*, 10, 28–32 [in Russian].
13. Nikonov, A. V. (2013). Peculiarities of Modern Geodetic Devices Application in Observation over Settlements and Deformations of Buildings and Constructions of Power Industry. *Vestnik SSGA [Vestnik SSGA]*, 4(24), 12–18 [in Russian].
14. Skripnirov, V. A., & Skripniova, M. A. (2014). Creation of High-accuracy Small-sized Linear-angular Networks with the Use of Electronic Total Stations. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2014: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 1. Geodezija, geoinformatika, kartografija, markshejderija [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2014: International Scientific Conference: Vol. 1. Geodesy, Kartography, Geoinformatics and Mine Surveying]* (pp. 87–91). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
15. Mogil'nyj, S. G., & Sholomickij, A. A. (2015). Technological Models of High-accuracy Geodetic Measurements in Assembling and Monitoring Industrial Installation. In *Sbornik materialov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii: Geodezija, Kartografija, Geoinformatika i Kadastry. From Idea do vnedrenija [Proceedings of International Scientific and Practical Conference: Geodesy, Kartography, Geoinformatics and Kadastres. From Idea do Implementation]* (pp. 55–57). St. Petersburg: Politehnika Publ. [in Russian].
16. Nikonov, A. V. (2015). Investigation of Distance Measurement Accuracy by Electronic Total Stations in Reflectorless Mode. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 1(29), 43–53 [in Russian].
17. Nikonov, A. V., Chesheva, I. N., & Lifashina, G. V. (2015). To the Question of Stadia Constant Determination of Electronic Total Station Distance Measuring Device. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 1(29), 54–61 [in Russian].
18. Gorjainov, I. V. (2016). About the Best Configuration of Line-and-angle Back-sight and Appropriate Number of Points for Obtaining the Necessary Accuracy. *Izvestiya vuzov. Geodeziya iaehrofotos'emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 4, 41–47 [in Russian].

19. Gorjainov, I. V. (2018). Experimental Research of Line-and-angle Back-sight Use for Estimation of Points' Stability of Plan Deformation Geodetic Network. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 23(1), 28–39 [in Russian].

20. Nikonov, A. V. (2013). To the Question of Accuracy of Line-and-angle Backsight on Short Distances. *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2013: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 1. Geodezija, geoinformatika, kartografija, markshejderija [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2013: International Scientific Conference: Vol. 1. Geodesy, Kartography, Geoinformatics and Mine Surveying]* (pp. 93–100). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].

21. Nikonov, A. V., Chesheva, I. N., & Lifashina, G. V. (2014). Investigation of Geodetic Base Stability Influence on the Accuracy of Line-and-angle Back-sigh. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2014: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 1. Geodezija, geoinformatika, kartografija, markshejderija [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2014: International Scientific Conference: Vol. 1. Geodesy, Kartography, Geoinformatics and Mine Surveying]* (pp. 63–70). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].

22. Skripnikov, V. A., & Skripnikova, M. A. (2012). Technological Scheme of Geodetic Support in Hydrogenerator Reconstruction. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2012: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 1. Geodezija, geoinformatika, kartografija, markshejderija [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2012: International Scientific Conference: Vol. 1. Geodesy, Kartography, Geoinformatics and Mine Surveying]* (pp. 46–51). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].

23. Ustavich, G. A., Skripnikov, V. A., & Skripnikova, M. A. (2015). Geodetic Support of Hydrogenerators' Reconstruction. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2015: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 1. Geodezija, geoinformatika, kartografija, markshejderija [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2015: International Scientific Conference: Vol. 1. Geodesy, Kartography, Geoinformatics and Mine Surveying]* (pp. 68–71). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].

24. Beshr Ashraf A., Rjabova, N. M., & Skripnikova, M. A. (2010). Development of Methodology for Determination of Gateway Walls' Horizontal Displacement. *Geodezija i kartografija. [Geodesy and Cartography]*, 6, 17–21 [in Russian].

25. Bernd, Hiller, & Jambaev H. K. (2016). Research of Automated System for Gate Chamber Deformation Monitoring. *Izvestiya vuzov. Geodeziya iaehrofotos"emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 3, 33–38 [in Russian].

Received 02.07.2018

© G. A. Ustavich, V. S. Pisarev, S. V. Seredovich,
V. A. Skripnikov, M. A. Skripnikova, V. I. Dudarev, 2018